



УДК 621.165

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВОДЯНЫХ КАМЕР СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

ENHANCEMENT OF CONSTRUCTION OF WATER CHAMBERS OF NETWORK WATER HEATERS OF STEAM TURBINE FOR COMBINED HEAT AND ENERGY PRODUCTION

Билан Андрей Витальевич, инженер АО “Уральский турбинный завод”, Россия, 620017, г. Екатеринбург, ул. Фронтových Бригад, 18. E-mail: andrey820325@mail.ru, Тел.: +7 (902) 266-40-25

Плотников Петр Николаевич, д-р. техн. наук, профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: plot24@mail.ru. Тел.: +7(922)221-50-27

Andrey V. Bilan, engineer, JSC “The Ural Turbine Works”, 620017, Frontovyykh brigad st., 18, Ekaterinburg, Russia. E-mail: andrey820325@mail.ru. Ph.: +7 (902) 266-40-25

Petr N. Plotnikov, Doctor Sc., Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: plot24@mail.ru. Ph.: +7(922)221-50-27

Аннотация: В докладе рассматривается возможность использования перегородок водяных камер сетевых подогревателей в качестве анкерных связей и примеры их конструктивного исполнения. Приводятся результаты расчетов таких камер. По результатам этих расчетов сделаны выводы, что использование анкерных перегородок позволяет существенно уменьшить изгибные напряжения в днище и трубной доске, уменьшить нагрузку на фланцевое соединение, вместо эллиптического днища использовать плоское, существенно уменьшить продольные напряжения в трубах, что повышает ресурс самого повреждаемого элемента подогревателя.

Abstract: The report explores the possibility of using partitions of network heater chambers as anchor ties and examples of their design are presented. The results of calculations of such chambers are presented. Based on the results of these calculations, it is concluded that using the anchor partitions makes it possible to significantly reduce bending stresses in the bottom and tube plate, reduce the load on the flange connection, use a flat bottom instead of the elliptical one, significantly reduce the longitudinal stresses in the tubes, which increases the life of the most damageable heater element.

Ключевые слова: сетевой подогреватель; анкерные связи; трубная доска.

Keywords: network water heater; anchor ties; tube plate.

В АО “УТЗ” с 2005 года расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) основных деталей сетевых подогревателей горизонтального типа (ПСГ): трубной доски, трубок, компенсатора проводятся по специальной методике в осесимметричной постановке, как взаимосвязанной упругой системы: трубный пучок, трубная доска, компенсатор, корпус [1]. Были проведены исследования по влиянию на НДС различных факторов [2], в том числе анкерных связей, расположенных по окружности в водяных камерах, что приводило к уменьшению напряжений в трубной доске на 15 %, а максимальных напряжений в крайних трубах на 26-33%. В настоящее время разработаны подогреватели на повышенное давление по воде 1,6 МПа и имеются заказы на давление 2,5 МПа,

что требует дальнейшего исследования и оптимизации НДС трубной доски и днища с учетом неосесимметричного расположения анкерных связей. Эту задачу можно решить в 3D постановке с использованием комплекса ANSYS.

Обычно используются отдельно стоящие анкеры [3], которые, очевидно, приводят к концентрации напряжений в днище и трубной доске в местах присоединения. Для уменьшения напряжений в водяной камере нагрузку от анкеров необходимо распределить на возможно больший участок как днища, так и трубной доски, для чего можно использовать имеющиеся в камерах продольные перегородки между ходами.

Температурные напряжения, возникающие из-за разности температур трубок различных ходов и корпуса, обычно минимизируются за счет линзового компенсатора, поэтому далее рассматриваем только напряжения от давления по воде. Несмотря на относительно небольшое давление 1,14 МПа при диаметре водяной камеры 3000 мм, получаем в ПСГ-4900 усилие на днище 8 МН (800 т). Это усилие приводит к изгибу трубной доски и днища, а также передается на фланцевое соединение, в котором оно увеличивается на коэффициент затяжки 1,5-1,8. Анкерные перегородки будут работать на растяжение и возьмут на себя большую часть усилия от давления, следовательно, именно на столько же уменьшится нагрузка на фланцевое соединение.

На рис. 1 показан первый вариант, когда перегородка 1 приваривается к трубной доске 3 (шов α) и присоединяется разъемным резьбовым соединением к днищу 2. Для этого к днищу привариваются две бобышки 8 с внутренней резьбой, а к перегородке две бобышки 9 с отверстиями для винтов. После установки днища на место монтажник заворачивает винты 10, при этом создавая натяг в соединении, прикладывая определенный крутящий момент. Для снятия днища все соединения развинчиваются.

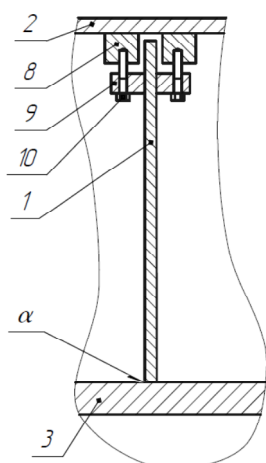


Рис. 1. Первый вариант крепления перегородки

На рис. 2 показан второй вариант, когда перегородка приваривается к днищу (шов β) и присоединяется разъемным резьбовым соединением к трубной доске. Для этого к трубной доске привариваются две бобышки 1 с внутренней резьбой, а к перегородке две бобышки 9 с отверстиями для винтов. После установки днища на место монтажник заворачивает винты 10, при этом создавая натяг в соединении, прикладывая определенный крутящий момент. Для снятия днища все соединения развинчиваются.

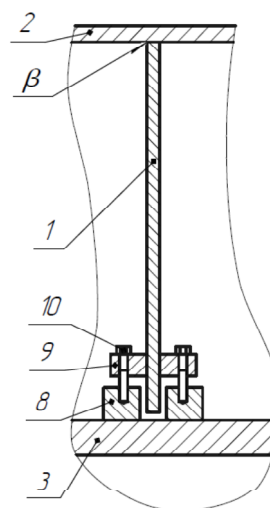


Рис. 2. Второй вариант крепления перегородки

На рис. 3 показан третий вариант, когда перегородка состоит из двух частей, одна из которых 11 приваривается к днищу (шов γ), а другая 12 приваривается к трубной доске (шов δ) и соединяются между собой разъемным резьбовым соединением. Для этого к нижней перегородке 12 привариваются две бобышки 8 с внутренней резьбой, а к перегородке 11 две бобышки 9 с отверстиями для винтов. После установки днища на место монтажник заворачивает винты 10, при этом создавая натяг в соединении, прикладывая определенный крутящий момент. Для снятия днища все соединения развинчиваются.

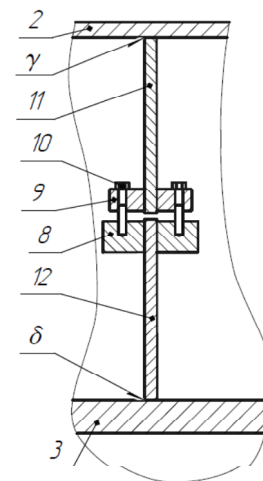


Рис. 3. Третий вариант крепления перегородки

На рис. 4 показан четвертый вариант, когда не используются смотровые люки, перегородка приваривается к трубной доске 1 (шов δ), а в противоположную часть перегородки ввариваются бобышки 9 с отверстиями для винтов 10, которые проходят через днище 2.

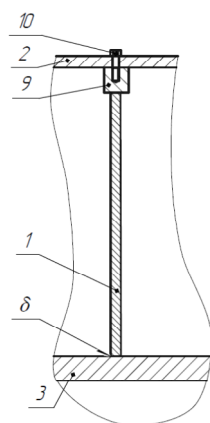


Рис. 4. Четвертый вариант крепления перегородки

Для более равномерного распределения нагрузки от давления воды необходима установка дополнительных анкерных перегородок. На рис. 5 показано расположение перегородок в поворотной камере, а на рис. 6 – во входной.

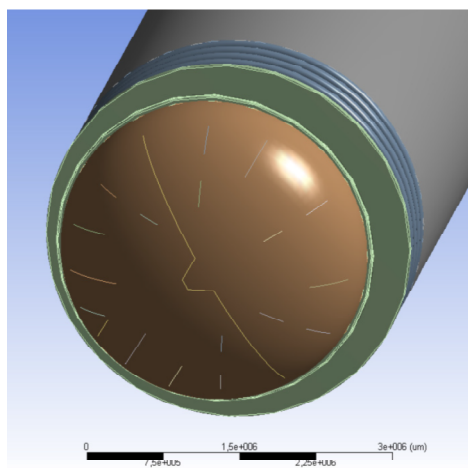


Рис. 5. Расположение перегородок в поворотной камере

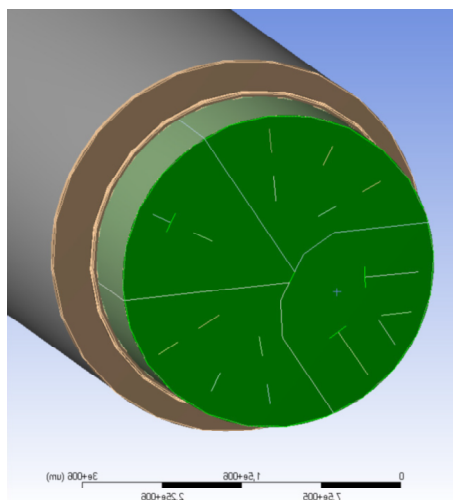


Рис. 6. Расположение перегородок во входной камере

В существующих конструкциях ПСГ используются эллиптические днища, так как изгибные напряжения от действия давления воды в них минимальны и анкерные перегородки, передающие продольные усилия, существенно не уменьшают их допустимую толщину, но необходимы для уменьшения изгиба трубной доски. Поэтому переход на плоские днища возможен с целью более простого их изготовления. В эллиптическом днище без перегородок получаются напряжения в центре 40 МПа, а на краях в месте присоединения к фланцу 120 МПа. За счет присоединенных анкерных перегородок можно добиться существенного уменьшения напряжений на краю до 50 МПа, но для уменьшения концентрации напряжений в средней части днища необходимо установить дополнительные ребра и, таким образом, получить допустимые напряжения с уменьшенной толщиной эллиптического.

Плоское днище целесообразно устанавливать на входной камере, так как это приведет к сокращению общей длины подогревателя примерно на 1 м. Поэтому рассмотрим модернизированный ПСГ-4900 с плоским днищем толщиной 40 мм на входной камере и эллиптическим днищем толщиной 24 мм на поворотной с уменьшением толщины трубных досок со 105 мм до 60 мм с анкерными перегородками.

На рис. 7 показаны продольные напряжения в трубках в исходном варианте без анкерных перегородок, а на рис. 8 - с анкерными перегородками. Анкерные перегородки, работающие на растяжение, приводят к существенному уменьшению изгиба трубной доски и соответственно к более равномерному распределению напряжений в трубках. Как и в исходной конструкции максимальные напряжения растяжения находятся в периферийных трубках и уменьшились с 94 до 23 МПа, т.е. более чем в 3 раза, что существенно скажется на ресурсе трубной системы – самом повреждаемом элементе ПСГ. Уменьшились и сжимающие напряжения в центральных трубках.

Из условий прочности толщина плоского днища без анкерных связей составляет 120 мм. Установка анкерных перегородок позволила утонить плоское днище, имеющее ребра жесткости, до 40 мм. На рис. 9 показаны эквивалентные напряжения, они не превышают допускаемые (150 МПа).

В конструкции с анкерными перегородками доска толщиной 60 мм имеет такой же уровень напряжений как доска толщиной 105 мм при отсутствии анкерных связей.

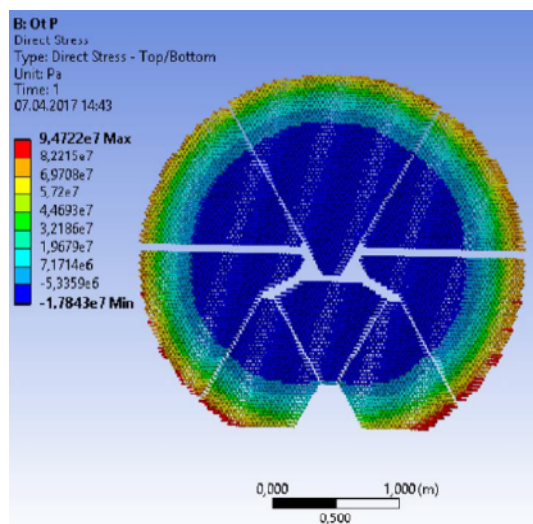


Рис. 7. Напряжения в трубах в конструкции без анкерных перегородок

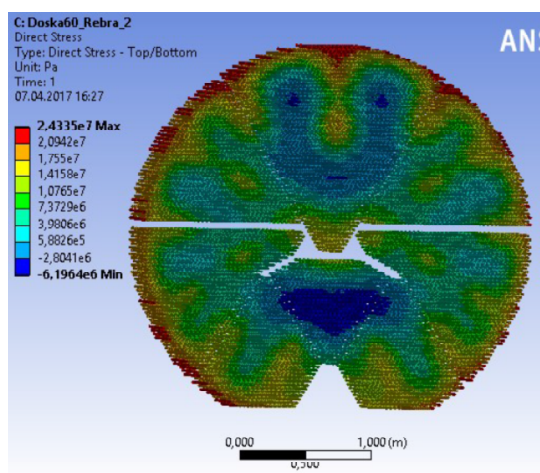


Рис. 8. Напряжения в трубах в конструкции с анкерными перегородками

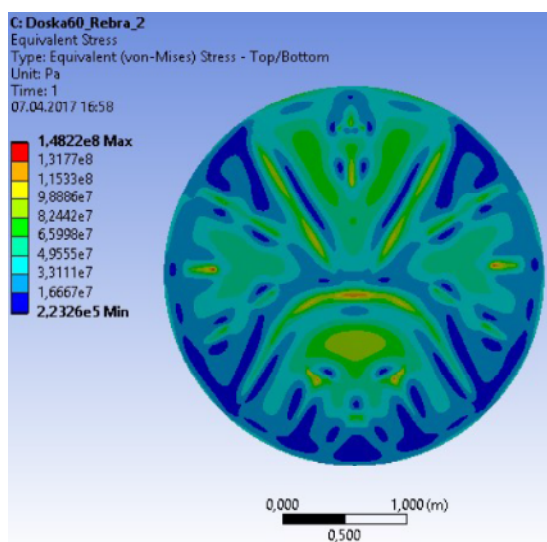


Рис. 9. Напряжения в плоском днище

Для обеспечения плотности, прежде всего в ПСГ-2200-3-16 с повышенным давлением по воде 1,6 МПа, использовались два фланца с дополнительной обечайкой между эллиптическим днищем и трубной доской. Так как 50-70 % нагрузки на днище воспринимается анкерными перегородками, то существенно (в 2-3 раза) уменьшается нагрузка на фланцевое соединение днища, что позволяет применить один фланец, в случае эллиптического днища крепить его непосредственно к трубной доске, а в случае плоского днища устанавливать фланец на цилиндрической обечайке. Несмотря на установку разъемных соединений на анкерных перегородках, общее количество шпилек уменьшается за счет существенного уменьшения их на фланцах. Это связано с тем, что на перегородках шпильки работают только на растяжение, а на фланцевом соединении возникает изгиб, который в 1,5-2 раза увеличивает нагрузку на шпильки.

При использовании анкерных перегородок:

1. Существенно уменьшаются изгибные напряжения в днище и трубной доске, уменьшая нагрузку на фланцевое соединение.
2. Можно утонить трубную доску до 60 мм и существенно сэкономить металл (до 10 тонн на две трубных доски). Уменьшаются затраты на сверление большого количества отверстий для трубок.
3. Можно вместо эллиптического днища использовать плоское. Особенно рекомендуется для входной камеры, что приводит к уменьшению длины ПСГ примерно на 1,2 м.
4. Существенно (более чем в 3 раза) уменьшаются продольные напряжения в трубах, что повышает ресурс самого повреждаемого элемента ПСГ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Билан А.В., Билан В.Н. Расчет на прочность трубных досок сетевых подогревателей горизонтального типа // Проблемы машиностроения. 2006. № 4. С. 71-81.
2. Билан А.В., Билан В.Н. Повышение надежности трубной системы подогревателей горизонтального типа // Теплоэнергетика. 2009. №9. С.35-38.
3. К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин и др. Под ред. профессора, докт. техн. наук Ю.М. Бродова. Теплообменники энергетических установок. Екатеринбург: Сократ, 2002. 968 с.